Über die Bildung von Sauerstoff durch grüne in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Landpflanzen.

Von Prof. Dr. **Jos. Boehm.**

(Mit 1 Tafel.)

Die Versuche über die Zerlegung der Kohlensäure durch grüne Landpflanzen unter Einwirkung des Lichtes wurden bis in die neuere Zeit stets in kohlensäurehältigem Wasser gemacht.

Diese Methode, welche zur Demonstration der erwähnten Function grüner Landpflanzen sehr bequem ist, wurde jedoch für streng wissenschaftliche Untersuchungen insbesondere deshalb aufgegeben, weil dabei die Versuchsobjecte unter ganz abnormen Verhältnissen zu fungiren gezwungen sind.

Es muss in der That bei genauerer Erwägung sicher recht auffallend erscheinen, dass untergetauchte Landpflanzen sich unverzüglich den neuen Verhältnissen accommodiren und mit ganz auffallender Energie die vom Wasser absorbirte Kohlensäure aufnehmen und zerlegen, ganz so, wie dies genuine Wasserpflanzen thun.

Hinsichtlich der Respiration liegt wohl der Vergleich zwischen Land- und Wasserpflanzen einerseits und Lungen- und Kiemenathmern anderseits sehr nahe. Bei den letzteren stellt man sich den Vorgang der Athmung so vor, dass einerseits der im Wasser absorbirte Sauerstoff unmittelbar ins Blut und anderseits die im Blute der Kiemen gelöste Kohlensäure directe ins umgebende Wasser diffundire. Eine gleiche Vorstellung hat man meines Wissens auch von der Respiration echter Wasserpflanzen.

Es schien mir nun sehr zweifelhaft und jedenfalls einer eingehenden Untersuchung werth, ob bei grünen, in kohlensäurehäl-

tiges Wasser getauchten Landpflanzen die Respiration in ähnlicher Weise wie bei den Kiemenathmern (und echten Wasserpflanzen) erfolge.

Bringt man ein grünes Blatt einer Landpflanze, welches man früher, um die adhärirende Luft zu entfernen, unter Wasser sorgfältig benetzt hat, in kohlensäurehältiges Wasser, so bedeckt sich dasselbe alsbald auch im Dunkeln mit einer grossen Anzahl von Bläschen. Besitzt das Blatt nur auf einer Seite Spaltöffnungen, so zeigt sich die Erscheinung insbesonders nur auf dieser Seite. — Die Zahl der Bläschen und deren Wachsthum ist um so bedeutender, je kohlensäurereicher das Wasser ist. — Macht man den Versuch mit beblätterten Zweigspitzen von *Pinus silvestris*, so vernimmt man sogar ein auffallendes, durch das Entweichen der Gasbläschen bedingtes Knistern.

Aus kohlensäurehältigem Wasser[1] in welches man Blätter grüner Landpflanzen oder Zweigspitzen von Nadelhölzern bringt, scheidet sich in verdunkelten Apparaten, Fig. 1, an der Sonne (d. i. bei hinreichender Temperatur) innerhalb 5—6 Stunden eine gar nicht unbedeutende Menge von Gas ab, welches zum grössten Theile aus Kohlensäure, Stickstoff und einer sehr geringen Menge von Sauerstoff besteht, wie aus folgender Tabelle, die nur

[1] Das kohlensäurehältige Wasser bereite ich mir mittelst eines nach Art der Döbereiner'schen Zündmaschine construirten Apparates aus Marmor und Salzsäure. Um die entbundene Kohlensäure von den letzten Resten der mitgerissenen Salszäure zu befreien, wird dieselbe in kreidehältigem Wasser und in einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyde gewaschen, über angefeuchtete Stücke von Kreide und Glas geleitet und dann in eine Flasche gedrückt, welche mit einem doppelt durchbohrten Kautschukstöpsel verschlossen ist. In die zweite Öffnung dieses Stöpsels wird ein heberförmig gebogenes, bis an den Boden der Flasche reichendes Glasrohr, über dessen äusseres Schenkelende ein Kautschukschlauch gesteckt ist, eingesenkt. Die zuerst ganz mit Wasser gefüllte Flasche wird vermittelst des Kautschukschlauches zur Hälfte entleert, dann das Abflussrohr mit einem Glasstöpsel verschlossen und die Flasche solange geschüttelt, als noch Kohlensäure absorbirt wird.

Unterhalb mit Kohlensäure gesättigtem Wasser verstehe ich im Folgenden solches, welches durch Schütteln mit Kohlensäure gesättiget, und dann mit einem gleichen Volumen gewöhnlichen Wassers gemischt wurde.

die Resultate einer kleinen Anzahl der gemachten Versuche enthält, ersichtlich ist*.

Versuchszeit	Versuchsobjecte	Abgeschiedene Gasmenge in CC.	Rest dies. Gases nach Behandlung mit Kalilauge, auf 0° u. 1 Mtr. Druck reducirt, in CC.	Sauerstoffgehalt dieses Gases in Procenten ***
4. Sept. 1867	*Platanus orien.* 3 Blätter	130	2·29	7·95
6. August 1869	„	134	3·42	6·27
„ „ „	„	140	4·57	4·13
24. Juli 1870	„	129	5·82	5·81
6. August 1869	*Juglans regia* 4 Blätter	147	3·51	4·62
„ „ „	„	138	4·03	5·37
24. Juli 1870	„	120	4·62	0·53 **
„ „ „	*Pinus silvestris* 12 Zweigspitzen	131	2·8	3·51

Der Umstand, dass grüne, in kohlensäurehältiges Wasser eingetauchte Landpflanzen auch im Dunkeln nicht unbedeutende

* Diese Versuche wurden mit 750 CC. fassenden Röhren in beiläufig zur Hälfte mit Kohlensäure gesättigtem Wasser gemacht. Vor den Versuchen wurden die oberen Hälften der mit Wasser gefüllten Röhren von 5 zu 5 CC. mit Luft kalibrirt. Die Verdunklung der Apparate geschah mittelst Hülsen, welche in dreifacher Lage aus schwarzem Tuche gefertiget waren. Die Temperatur innerhalb der Hülsen stieg bei keinem Versuche über 33° C.

** Bei diesem Versuche ragte ein Stück des Blattes in das abgeschiedene Gas. Wenn dies bei einem grösseren Theile der Versuchsobjecte der Fall ist, so findet man in dem abgeschiedenen Gase oft keine Spur von Sauerstoff. — Um bei eintretender Gasabscheidung ein Aufsteigen der Blätter oder Zweige zu verhindern, wurden die zuerst eingeschobenen Objecte an einem feinen Messingdrahte in der aus der Fig. 1 ersichtlichen Weise befestigt.

*** Die Resultate derartiger Versuche (Abscheidung von sauerstoffhältigen Gasen durch grüne, in kohlensaures Wasser getauchte Landpflanzen) verleiteten mich seinerzeit zu der völlig irrigen Annahme, dass grüne Pflanzen auch vermittelst der Wärmestrahlen die Kohlensäure, wenn auch nur in sehr geringer Menge zu zersetzen im Stande seien.

Gasmengen abscheiden, bestärkte mich in meinem Bedenken gegen die bisherige Annahme, dass dieselben bei der Insolation unter den genannten Verhältnissen anders fungiren, als wenn sie in kohlensäurehältiger Luft dem Sonnenlichte ausgesetzt werden.

In Gefässen mit kohlensäurehältigem Wasser, welches aber noch weit entfernt ist, mit diesem Gase gesättigt zu sein, scheiden sich bekanntlich an den Wänden, besonders wenn diese rauh sind, selbst bei kaum erhöhter Temperatur und fast unverändertem Barometerstande Gasblasen ab[1]. Dass diese Gasabscheidung bei den in kohlensäurehältiges Wasser getauchten Pflanzen in Folge der Diffusion zwischen den in der Pflanze enthaltenen und den von Wasser absorbirten Gasen eine viel lebhaftere sein muss, ist natürlich. Ebenso natürlich ist es auch, dass bei Blättern, welche nur auf einer Seite Spaltöffnungen besitzen, sich nur diese Seite besonders mit Bläschen bedeckt.

In Folge dieser Thatsachen und der daran geknüpften Reflexionen schien es mir nun sehr wahrscheinlich, dass die in kohlensäurehältiges Wasser getauchten Landpflanzen sich zuerst mehr weniger vollständig mit einer kohlensäurehältigen Atmosphäre bekleiden und dann bezüglich der Sauerstoffausscheidung gerade so verhalten wie in ihrem natürlichen Medium.

Diese Hypothese suchte ich auf dreierlei Weisen zu prüfen.

1. Methode.

Dass die Gasabscheidung durch insolirte grüne Pflanzen in kohlensäurehaltigem Wasser lebhafter erfolgt als bei gleicher Temperatur im Dunkeln, ergibt sich als nothwendige Consequenz meiner dargelegten Voraussetzung. Die in Folge einfacher Diffusion auch im Dunkeln besonders über den Spaltöffnungen entstandenen Bläschen bestehen aus Kohlensäure, Stickstoff und Sauerstoff. Durch die Assimilationsthätigkeit der grünen Blätter wird nun der Inhalt des Bläschens immer sauerstoffreicher und so die Bedingung zu weiterer Diffusion mit den in dem Versuchswasser vorhandenen Gasen geschaffen. Die grössten Bläs-

[1] Bei Wässern, welche viel Carbonate der alkalischen Erden in Lösung enthalten, dürfte deren Ausscheidung hiebei eine wichtige Rolle spielen.

chen lösen sich ab und an derselben Stelle beginnt das Spiel wieder von Neuem.

Es ist bekannt, dass grüne Landpflanzen in mit Kohlensäure gesättigtem oder doch kohlensäurereichem Wasser nur vorzüglich Kohlensäure, etwas Stickgas und nur sehr wenig Sauerstoff abscheiden. — Bei einer grossen Anzahl diesbezüglicher Versuche mit Blättern von Juglans fand ich die unter Einfluss des directen Sonnenlichtes aus mit Kohlensäure gesättigtem Wasser während der ersten 15 Minuten ausgeschiedene Luft nicht reicher an Sauerstoff, als das unter sonst gleichen Umständen, aber erst nach längerer Zeit im Dunkeln ausgeschiedene Gas.

Boussingault[1] hat darauf aufmerksam gemacht, dass die Sauerstoffbildung durch grüne Blätter am Sonnenlichte in reiner Kohlensäure eine sehr unbedeutende sei. Boussingault gibt an, dass die Menge des von Kirschlorbeerblättern aus reiner Kohlensäure gebildeten Sauerstoffes sich zu dem, welcher aus mit indifferenten Gasen verdünnter Kohlensäure gebildet wird, durchschnittlich wie 1 zu 5 verhalte.

Ich habe in den Sommermonaten Juli, August und September von 1869 bis 1872 zusammen 36 Versuche mit Juglansblättern in reiner Kohlensäure am Lichte gemacht. Selbst nach 6stündiger ungetrübter Insolation betrug die Menge der zerlegten Kohlensäure nie mehr als 0·3 CC.; in den meisten Fällen aber und stets, wenn die Versuche im zerstreuten Lichte gemacht wurden, war die Menge des gebildeten Sauerstoffes kaum nachweisbar.

Eine etwas grössere Fähigkeit, aus reiner Kohlensäure Sauerstoff abzuscheiden, scheinen die Blätter von Platanus zu besitzen. Bei sechs diesbezüglichen Versuchen am 7. September 1870 betrug die Menge des gebildeten Sauerstoffes 8·4, 3·1, 2·6, 1·4, 0·7, 0·0 (?) CC.[2].

---

[1] Boussingault, Compt. rend. 1865, t. 60, pag. 875.

[2] Ich habe diese Versuche grösstentheils zu einem anderen Zwecke: um das Verhalten von Landpflanzen in sauerstofffreier Luft kennen zu lernen, angestellt. Ich hoffe nun trotz meiner Überbürdung mit Schulstunden bald in die Lage zu kommen, die Resultate dieser durch vier Vegetationsperioden festgesetzten Arbeit zusammenzustellen und verweise bezüglich der dabei befolgten Untersuchungsmethode auf diese Abhandlung.

Das völlig gleiche Verhalten insolirter Landpflanzen in reiner Kohlensäure und in kohlensäuregesättigtem Wasser stimmt vollkommen mit unserer Voraussetzung, dass sich die Pflanzen in letzterem Falle vorerst mit einer Luftatmosphäre umgeben, überein. Es werden nämlich die hier auf den Versuchsblättern sich bildenden Bläschen besonders bei Beginn des Versuches zum grössten Theile aus Kohlensäure bestehen.

Das Wachsen der Bläschen auf den, in kohlensäurehältiges Wasser getauchten Blättern erfolgt unter sonst gleichen Verhältnissen bei verschleiertem Sonnenlichte viel langsamer, als bei ungetrübtem Himmel. Es ist dies in der langsameren Zerlegung der Kohlensäure und der dadurch verringerten Ursache zur Gasdiffusion begründet. Aber auch bei ungetrübtem Sonnenschein geschieht die Zerlegung der in den Bläschen enthaltenen Kohlensäure natürlich nicht momentan. Diese Zerlegung müsste offenbar nur sehr unbedeutend werden, wenn die auf den Versuchsblättern sich ausscheidenden Gasbläschen nur möglichst kurze Zeit mit jenen in Berührung bleiben würden. Ich machte zu diesem Zwecke nun folgende Versuche.

Auf dem Boden einer 45 Ctm. weiten und 8 Ctm. hohen. inwendig weiss lackirten und mit halb mit Kohlensäure gesättigtem Wasser gefüllten Blechwanne wurden Blätter von Juglans und Platanus, die Unterseiten derselben nach aufwärts gekehrt, ausgebreitet und durch, auf deren Ränder gelegte Marmorstückchen, in dieser Lage befestiget, Fig. 2. Die Versuche wurden stets mit je zwei Blättern derselben Art gemacht. Über jedes derselben wurde in einer Entfernung von beiläufig 4 Ctm. ein, mit dem Wasser der Wanne gefüllter Glassturz, von 75 Mm. Lumen, in der aus der Fig. 2 ersichtlichen Weise, mittelst eines eisernen Hälters befestigt [1].

Der Apparat wird an einer von der Sonne beschienenen Stelle aufgestellt. — Während das Blatt *a* seinem Schicksale überlassen blieb, wurde die Oberfläche des Blattes *b* mittelst

[1] Zwischen dem Eisenringe und dem Glascylinder müssen Korkblätter eingeschaltet werden, denn sonst wird der Glascylinder in Folge seiner im Vergleiche mit dem Eisenringe grösseren Ausdehnung durch die Wärme während des Versuches zerdrückt.

einer durch mehrere Stunden ausgekochten Vogelfeder auf das sorgfältigste gebürstet und so jede sichtbare Blasenbildung verhindert. Es wurden im Ganzen an sonnenklaren Tagen in den Jahren von 1869 bis 1871 acht Doppelversuche mit Blättern von *Juglans regia* und *Platanus orientalis* gemacht. In allen Fällen war die Menge des von den gebürsteten Blättern abgeschiedenen Gases bedeutend geringer als von den nicht gebürsteten. — Da die Scheidung dieser so gewonnenen Gase von Wasser, behufs eudiometrischer Untersuchung nur unter Wasser geschehen konnte, wobei die Zusammensetzung des Gases in Folge von Absorption und Diffusion nothwendiger Weise alterirt, besonders aber ein Theil der enthalten gewesenen Kohlensäure absorbirt worden wäre, so habe ich lieber die Kohlensäure gleich durch Kalilauge absorbirt. Es geschah dies so:

Nachdem die Blätter entfernt und die Glascylinder auf den Boden der Wasserwanne gesenkt waren, wurden die Glascylinder auf einer geeigneten Porcellanschale in einen grossen, mit Wasser gefüllten Behälter übertragen und das Gas sodann in der aus der Fig. 3 ersichtlichen Weise in die früher vorgerichteten Röhren *a* und *b* gefüllt. Letztere sind mittelst eines Kautschukschlauches mit einander verbunden. Die ziemlich concentrirte Kalilauge in der Röhre *b* war von dem Wasser in der Röhre *a* durch einen Schraubenquetscher geschieden.

Nachdem das Gas vermittelst des Trichters *c* nach *a* übergefüllt war, wurde der Trichter entfernt, der Quetscher gelüftet und durch Schütteln von *b* oder leises wiederholtes Aufstossen von *a* das Gas nach *b* gebracht. Nach Schliessung des Quetschers wurde die Röhre *b* abgenommen.

Um das Gas von der überschüssigen Kalilauge zu trennen, wurde das Ende des Kautschukschlauches *d*, Fig. 4, mit Quecksilber gefüllt, eine allenfalls zurückgebliebene Gasblase mittelst eines Eisendrahtes entfernt und dann die mit Quecksilber gefüllte Röhre *e* aufgesetzt. Bei einiger Vorsicht gelingt es leicht, sämmtliches Gas ohne Kalilauge nach *e* überzuführen. — Die weiteren Operationen, um das so von Wasser geschiedene und von Kohlensäure befreite Gas in die Messröhren oder Eudiometer zu bringen, verstehen sich von selbst.

Ich stelle die Resultate sämmtlicher in dieser Richtung gemachten Versuche in folgender Tabelle zusammen.

Versuchszeit	Versuchsobject	Cylinderweite	Abgeschiedene Gasmenge ohne Kohlensäure bei 0⁰ und 1 Mtr. Druck		Sauerstoffgehalt dieses Gases in Procenten	
			a) nicht gebürstet	*b)* gebürstet	*a)* nicht gebürstet	*b)* gebürstet
25. Juli 1870	*Platanus*	75 Millimeter	20·87	2·13	75·16	32·71
26. Juli 1870	*Juglans*		16·77	3·70	76·99	39·56
30. Aug. 1871	*Platanus*		22·27	2·37	82·61	32·17
5. Sept. 1871	*Juglans*		20·45	3·17	84·91	33·83
22. Juli 1872	*Platanus*		22·27	1·79	85·37	28·94
25. Juli 1872	*Juglans*		19·21	3·62	78·73	41·27
31. Juli 1872	*Platanus*		37·25	3·25	92·46	36·24
1. Aug. 1872	*Juglans*		21·52	2·93	79·24	34·52

Aus dieser Tabelle ist, unserer Voraussetzung entsprechend, ersichtlich:

1. Dass die von den sich selbst überlassenen Blättern abgeschiedenen Gasmengen durchgehends grösser sind als die von den gebürsteten.
2. Dass die Gase der ersten Gruppe viel reicher an Sauerstoff sind, als die der zweiten.

Immerhin enthalten aber auch die Gase der Gruppe *b)* noch ziemlich viel Sauerstoff. Seine Quelle ist zweifellos eine doppelte; er stammt sicher theilweise aus dem Versuchswasser, zum Theile aber auch aus zerlegter Kohlensäure. Um hierüber wenigstens annähernd ins Klare zu kommen, habe ich folgende vier Versuche gemacht, deren Resultate ich zur besseren Übersicht unten in einer kleinen Tabelle zusammengestellt habe.

1. Versuch. In den 20 Ctm. hohen, 2700 CC. fassenden, mit gewöhnlichem (filtrirtem Donau-) Wasser gefüllten Glascylinder Fig. 5* wurden beiläufig 400 CC. Kohlensäure eingeleitet

---

* Die Art und Weise der Füllung solcher Cylinder wird durch einen Blick auf die Fig. 5 klar. *c* ist ein U-förmig gebogenes Glasrohr, über dessen beide Enden vulkanisirte Kautschukschläuche von geeigneter Länge geschoben sind. Der Cylinder *b* braucht nur so hoch und weit zu sein, dass nach vollständiger Aussaugung der Luft aus *a* das Rohr *c* leicht entfernt werden kann. *d* ist das Wasserzuleitungsrohr.

und diese sammt dem, im Cylinder zurückgebliebenen Wasser mit Quecksilber abgesperrt. Durch Nachfüllen von Quecksilber wurde der Stand desselben während der Absorption der Kohlensäure in- und ausserhalb des Cylinders stets, wenigstens ziemlich gleich hoch erhalten. — Die Zimmertemperatur betrug zwischen 20° und 21° C. — Nach 24 Stunden wurde das in dem Cylinder zurückgebliebene Gas in der oben beschriebenen Weise von Wasser getrennt, von Kohlensäure befreit und analysirt.

2. Versuch. Gleichzeitig mit dem früheren Versuche wurde ein 2170 CC. fassender Cylinder in gleicher Weise mit (durch Schütteln) kohlensäuregesättigtem Wasser gefüllt und dann gegen 200 CC. Kohlensäure eingeleitet.

3. Versuch. Bei dem Versuche am 30. August 1871 der vorigen Tabelle wurde neben den zwei Cylindern über den *Platanus*-Blättern ein dritter ganz gleich grosser in gleicher Weise aufgestellt, auf den Boden der Blechwanne aber statt eines Blattes ein in Salpetersäure blank gekochtes Platinblech von 30·25 □Ctm. Flächeninhalt gelegt.

4. Versuch. Bei dem Versuche am 25. Juli 1872 der vorigen Tabelle wurde ein ganz gleicher Versuch wie der eben sub 3 beschriebene Versuch gemacht, nur wurde auf den Grund der Blechwanne statt des Platinbleches eine durch zwei Stunden unmittelbar zuvor ausgekochte Federfahne gelegt.

Die eudiometrische Analyse der bei diesen Versuchen erhaltenen Gase ergab Folgendes:

	Gasmenge nach Entfernung der Kohlensäure, bei 0^0 und 1 Mtr. Druck, in CC.	Sauerstoffgehalt in Procenten.
1. Versuch 1. August 1870	8·82	17·44
2. Versuch 1. August 1870	2·56	28·56
3. Versuch 30. August 1871	2·71	19·85
4. Versuch 25. Juli 1872	1·64	18·97

Diese Versuche zeigen, dass mindestens die Hälfte des Sauerstoffes, welcher in den von den gebürsteten Blättern abgeschiedenen Gasen gefunden wurde, aus dem Versuchswasser stammt.

Die Schlussfolgerung aus allen bisher angeführten Versuchsresultaten ergibt sich von selbst. Sind diese auch kein ausreichender Beweis für unsere Hypothese, so widersprechen sie derselben nicht nur nicht, sondern machen deren Richtigkeit im Gegentheile mindestens sehr wahrscheinlich.

II. Methode.

Wenn unsere Ansicht über die Sauerstoffbildung durch grüne, in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Landpflanzen am Sonnenlichte richtig ist, so muss die Gasabscheidung ganz unterbleiben, wenn der Absorptionscoëfficient des Wassers für die in Betracht kommenden Gase, insbesondere für Kohlensäure, erhöht wird. Es kann dies bekanntlich auf zweierlei Weise geschehen:

α) durch Erniedrigung der Temperatur,
β) durch Anwendung von Druck.

α) Versuch bei niederer Temperatur.

Schon Cloez und Gratiolet[1] haben beobachtet, dass die Zerlegung der Kohlensäure durch Wasserpflanzen nicht unter 15°, respective 10° C. erfolge.

Ich habe meine diesbezüglichen Versuche in (natürlich unverhüllten) Apparaten von der in Fig. 2 abgebildeten Construction gemacht. Um zu verhindern, dass die Temperatur des kohlensäurehältigen Wassers in den während des Versuches insolirten Röhren nicht zu hoch steige, wurden die Apparate in Glascylinder von geeigneter Grösse gestellt und in das Wasser der letzteren Eisstücke eingesenkt. Wenn man dafür sorgt, dass stets ziemlich gleich viel Wasser und Eis in dem Kühlgefässe vorhanden ist, so bleibt bei gleichförmiger Insolation die Tem-

[1] Cloez et Gratiolet. Compt. rend. tom. 31. pag. 626.

peratur des Kühlwassers ziemlich constant. In 7 Liter fassenden Cylindern von 47 Centm. Höhe und 16 Centm. Weite erhielt sich dasselbe an heissen Augusttagen während der ganzen Versuchszeit zwischen 11 und 12° C. — Aus mehr als zur Hälfte mit Kohlensäure gesättigtem Wasser scheiden bei dieser Temperatur die Blätter von *Juglans* und *Platanus* nicht eine einzige Gasblase ab. Die Gasabscheidung beginnt erst, wenn die Temperatur des Wassers über 15° C. steigt, und ist da noch eine recht langsame.

Diese Thatsachen würden jedoch für unsere Hypothese natürlich nichts beweisen, wenn die zu den Versuchen verwendeten Blätter überhaupt der Fähigkeit entbehren würden, unter 15° bei sonst gleichen, d. i. für die in Rede stehende Function günstigen Umständen die Kohlensäure zu zerlegen. Um mich hierüber zu unterrichten, habe ich folgende Versuche gemacht.

Es wurden Blätter von *Juglans* in mit Quecksilber abgesperrte Gasgemische von Kohlensäure und Wasserstoff gebracht, und die Apparate in einen insolirten Glascylinder gestellt, dessen Wasser mittelst Eis an der Sonne bei einer Temperatur zwischen 12 und 15° C. erhalten wurde. Die Exposition dauerte von 9 bis 3 Uhr. Bei der eudiometrischen Analyse zeigten die Gase der zwei Versuchsreihen in je drei Apparaten folgende Zusammensetzung:

		Angewendete Gasmenge auf 0° und 1 Mtr. Druck reducirt. in CC.	Procentgehalt an	
			Kohlensäure	Sauerstoff
		1. Versuchsreihe.		
29. Juli 1870	*a*	16·73	13·46	12·57
	b	17·43	11·72	18·41
	c	14·24	8·35	17·03
		2. Versuchsreihe.		
21. Aug. 1871	*a*	21·35	15·43	12·28
	b	18·54	19·75	11·26
	c	17·39	16·53	10·57 *

* Diese Versuche wurden in Röhren von 20 Ctm. Länge gemacht. Nachdem dieselben mit Wasser gefüllt waren, wurde in jede ein früher gewaschenes und dann zusammengerolltes Blatt eingeschoben und mittelst

12*

Um zu erfahren, ob die Zerlegung der Kohlensäure durch *Juglans*-Blätter nicht auch bei einer niederen Temperatur erfolge, wurden als Kühlgefässe $2^1/_2$ Ltr. hältige Cylinder verwendet. In diesen erhielt sich die Temperatur während der Insolation zwischen 9 und 10° C. Es wurden im Ganzen zwei derartige Versuchsreihen mit je sechs Apparaten gemacht, deren Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind.

		Angewendete Gasmenge auf 0° und 1 Mtr. Druck reducirt, in CC.	Procentgehalt an	
			Kohlensäure	Sauerstoff
		1. Versuchsreihe.		
23. Aug. 1871	*a*	15·24	17·97	9·38
	b	19·53	19·74	8·85
	c	21·71	14·37	11·25
	d	18·53	38·52	4·71
	e	17·68	41·25	3·46
	f	19·36	44·28	2·79
		2. Versuchsreihe.		
21. Juli 1872	*a*	15·84	38·26	2·87
	b	17·66	19·42	13·68
	c	16·24	18·43	8·57
	d	20·73	21·55	7·38
	e	19·82	42·51	3·06
	f	16.05	47·42	4·21

---

eines Glasstabes in die Tiefe geführt. Dann wurde in einer Wanne das Wasser durch frisch entwickeltes Kohlensäure- und Wasserstoffgas vollständig verdrängt, die mit dem Daumen verschlossene Röhre in die Quecksilberwanne übertragen und nach 10—15 Minuten langem Stehen durch Neigen derselben einige Cubikcentimeter Gas entleert. Unter jede Röhre wurde sodann ein passendes Glasnäpfchen geführt, sammt diesem aus der Quecksilberwanne gehoben und, damit nach der Einsenkung des ganzen Apparates in das Kühlgefäss das Aufsteigen der Röhre sicher verhindert werde, diese mittelst Kork in das Näpfchen eingeklemmt. — Die quantitative Mischung der Gase wurde nach dem Augenmasse gemacht. Die Menge der ursprünglich im Versuchsgase vorhanden gewesenen Kohlensäure ergibt sich aus der Summe der Kohlensäure und des Sauerstoffes der Analyse. Letzteren habe ich stets durch Verbrennung mit Wasserstoffgas bestimmt.

Nebenbei, weil es hier eben darauf nicht ankommt, will ich bemerken, dass ich bei jeder Versuchsreihe drei ganz gleich grosse Fiederblätter

Diese Versuche zeigen also, dass *Juglans*-Blätter noch bei einer Temperatur Kohlensäure zerlegen, welche ziemlich bedeutend niederer als die ist, bei welcher sie aus kohlensäurehältigem Wasser Gas abzuscheiden anfangen[1].

Bemerkenswerth und lehrreich ist folgende Erscheinung, welche (allerdings nicht bei Landpflanzen) bereits von Cloez und Gratiolet bei *Potamogeton* und von Sachs bei *Vallisneria* beobachtet wurde. Wenn man nämlich die zu den Versuchen unter Eiswasser zusammengestellten, mit kohlensäurehältigem Wasser und *Juglans*-Blättern gefüllten Apparate anfangs an der Luft insolirt und erst, nachdem sich die Blätter über und über mit Gasbläschen bedeckt haben, in das Eiswasser einsenkt, so erfolgt noch bei 12° C. eine, wenn auch schwache Gasabscheidung. Die Ursache hierfür ist leicht einzusehen. Sowie aus freistehendem kohlensäurehältigen Wasser von der bezeichneten Temperatur die Kohlensäure in die Luft diffundirt, so diffundirt sie natürlich auch in die auf den Blättern bereits gebildeten Bläschen, um dort, wenn auch langsamer als bei höherer Temperatur, zerlegt zu werden.

Aus dieser Thatsache, welche auch anderseits hiermit ihre Erklärung findet, in Verbindung mit den anderen bisher referirten Versuchsresultaten, ergibt sich, wie ich glaube, mit Nothwendigkeit die Richtigkeit unserer Voraussetzung.

---

verwendete. — In denselben Cylinder mit dem Kühlwasser wurden auch zwei Apparate mit in kohlensäurehältiges Wasser getauchten Blättern von *Juglans* und *Platanus* gebracht. Bis zum Schlusse des Versuches zeigte sich hier keine einzige Gasblase, während in ganz gleichartigen, in der Luft insolirten Apparaten die Gasabscheidung eine sehr lebhafte war.

Bei dem Versuche f. 21. Juli 1872 konnte durch die eudiometrische Analyse gar kein Sauerstoff nachgewiesen werden. Dass aber auch hier, wenn gleich nur in sehr geringer Menge, Sauerstoff gebildet werden musste, werde ich bei einer anderen Gelegenheit zeigen.

[1] Sachs (Physiol. pag. 55) hat gewiss recht, wenn er meint, dass bei vielen im Winter, Herbste und Frühjahre vegetirenden Moosen und Flechten die Temperatur, bei welcher die Kohlensäure noch zerlegt wird, viel unter 10° C. liege. Nach Boussingault (Compt. rend. t. 68 pag. 410) beginnt die Zerlegung der Kohlensäure schon bei 0·5°—3·5° C. — Trotz wiederholter Versuche gelang es mir nicht, das Kühlwasser in hinreichend grossen Cylindern dauernd unter 9° C. zu erhalten.

Es war mir von Interesse, auf Grundlage eigener Versuche kennen zu lernen, wie sich echte Wasserpflanzen bezüglich der Sauerstoffbildung sowohl aus gasförmiger, als von Wasser absorbirter Kohlensäure verhalten. Ich bin hierüber noch zu keinem definitiven Abschlusse gekommen. Vorläufig theile ich nur mit, dass von *Potamogeton* aus zur Hälfte mit Kohlensäure gesättigtem Wasser bei 9° C. nur sehr wenig, bei *Myriophyllum verticillatum* schon bei 12° C. gar kein Gas mehr abgeschieden wurde. — In an der Luft insolirten Gasgemischen aus beiläufig $^1/_3$ Volum Kohlensäure und $^2/_3$ Volum Wasserstoff war die Sauerstoffbildung durch *Potamogeton* und *Myriophyllum* eine sehr ausgiebige. Die Resultate der Versuche in einer Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff bei einer Temperatur von 9° C. lasse ich hier folgen.

Versuchszeit	Versuchsobject	Angewendete Gasmenge auf 0° und 1 Mtr. Druck reducirt in CC.	Procentgehalt an	
			Kohlensäure	Sauerstoff
31. Aug. 1871	*Potamogeton perfoliatus*	*a* 14·89	20·32	4·92
		b 16·27	15·63	6·21
	Myriophyllum verticillatum	*a* 14·59	33·59	0·46
		b 15·94	25·76	2·13

β) Versuche bei erhöhtem Drucke.

Ich gehe nun zur Besprechung jener Versuche über, bei welchen die in kohlensaures Wasser eingetauchten oder von kohlensäurehältiger Luft umgebenen grünen Pflanzentheile unter einen bestimmten Druck gesetzt wurden. Ich bediente mich hierbei der in Fig. 6 und 7 abgebildeten Apparate. — Apparat Fig. 6 besteht im Wesentlichen aus den zwei durch einen kurzen Kautschukschlauch verbundenen Röhren *a* und *b*. Nachdem das eine Ende von *a* schon früher zugeschmolzen worden war, wurde das Versuchsobject eingeschoben und dann der Röhre auch auf dem anderen Ende in der Flamme des Gasgebläses die richtige Form gegeben. Dieser Apparat wurde sowohl

zu Versuchen in kohlensäurehältigem Wasser als zu solchen in kohlensäurehältiger Luft verwendet. Nach der Füllung der Röhre *a* erfolgt deren Verbindung mit *b* in einem grösseren Wasserbehälter. Der Kautschukschlauch wird so weit über beide Röhrenenden geschoben, dass diese sich directe berühren. Der hier angelegte Verband muss, wenn man bei höherem Drucke zu arbeiten beabsichtiget, ein sehr sorgfältiger sein. Um ein Zerren des Kautschukschlauches und dessen Auftreibung zu verhindern, wird eine grössere Anzahl von Windungen des Bindfadens schief so angelegt, dass selbe beide Röhrenenden gleichzeitig treffen und dann noch besonders die Stelle zwischen den Röhrenenden durch weitere Windungen gedeckt.

Apparat Fig. 7 ist nur zu Versuchen mit Pflanzen in kohlensäurehältigem Wasser verwendbar. Seine Construction wird sofort ohne weitere Erklärung durch einen Blick auf die Zeichnung klar.

Aus einer grossen Anzahl von Versuchen stellte sich heraus, dass insolirte *Juglans*- und *Platanus*-Blätter aus beiläufig zur Hälfte mit Kohlensäure gesättigtem Wasser bei einem Drucke von 15 Zoll Quecksilber in der Regel gar kein Gas mehr abzuscheiden vermögen. In jedem Falle unterbleibt aber die Gasentbindung vollständig, wenn man die bei der Zusammenstellung der Apparate sorgfältig von adhärirenden Luftbläschen befreiten Blätter gleich unter einen Druck von 20 Zoll bringt.

Wir haben oben gesehen, dass die Gasabscheidung durch in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Blätter von *Juglans* und *Platanus* noch bei einer Temperatur von 12° C. erfolgt, wenn man die Apparate nicht gleich in das gekühlte Wasser bringt, sondern sie zuerst an der Luft insolirt. — Ganz ähnlich verhält es sich bei Druckversuchen. Wurden die Blätter in den Apparaten Fig. 7 nicht gleich beim Beginne des Versuches unter Druck gesetzt [1], so bedeckten sich dieselben anfangs in normaler Weise

[1] Apparat Fig. 7 stellt jenen Fall dar, wo die Versuchsobjecte ursprünglich nur unter dem Drucke der Atmosphäre stehen. Will man gleich beim Beginne des Versuches einen höheren Druck anwenden, so füllt man aus einer kleinen Pipette mit sehr feiner Öffnung in die bereits sorgfältig eingebundene Manometerröhre Quecksilber bis zur gewünschten Höhe nach.

mit Bläschen und das Quecksilber fuhr in den Manometerröhren der Apparate meist noch zu steigen fort, nachdem es die Höhe von 15 Zoll bereits überschritten hatte. Bei diesen Versuchen unterblieb die weitere Gasabscheidung nur selten, so lange das Quecksilber unter 20 Zoll stand; einigemale stieg es sogar auf 33 Zoll. Die Gründe hierfür sind dieselben, wie die oben pag. 181 angegebenen [1], [2].

Die eben angeführten Versuche können als Belege für die Richtigkeit unserer Hypothese erst dann in Anspruch genommen werden, nachdem durch weitere Versuche in bejahendem Sinne die Frage entschieden wurde: ob insolirte grüne Landpflanzen bei höherem Drucke überhaupt noch im Stande sind, Kohlensäure zu zerlegen.

Zur Lösung dieser Aufgabe benützte ich den schon beschriebenen, Fig. 6 dargestellten Apparat. Nachdem in die Röhre *a* das Versuchsobject eingeschmolzen war, wurde selbe bei der Füllung mit Wasser dem speciellen Zwecke entsprechend kalibrirt und sodann Kohlensäure und Wasserstoff in bestimmten Quantitäten directe aus den Gasentbindungsapparaten eingeleitet.

Bei diesen Versuchen konnte natürlich weder die ursprüngliche Gasmenge, noch das quantitative Mischungsverhältniss von Kohlensäure und Wasserstoff genau bestimmt werden.

Besondere Vorsicht ist bei der Füllung des Apparates mit Quecksilber zu beobachten. Um zu verhindern, dass dabei Luft in die Röhre *a* geführt werde, muss man das Druckrohr *b* vorerst ganz mit Wasser füllen. Auch hiebei ist es, selbst wenn

---

[1] Zu diesen Versuchen wurden stets sechs mittelgrosse Fiederblätter von *Juglans* oder ebensoviel kleinere Blätter von *Platanus* in Röhren von 500 bis 600 CC. Inhalt verwendet.

[2] Während der Insolation steigt das Quecksilber in den Apparaten wegen der Ausdehnung des Wassers zu einer bestimmten Höhe. Um diese so gering als möglich zu machen, wurden die Apparate schon ursprünglich mit kohlensäurehältigem Wasser von beiläufig 25° C. gefüllt. In ganz gleichen nur mit solchem Wasser (ohne Blätter) gefüllten Apparaten stieg dann bei weiterer gleicher Behandlung das Quecksilber in den Manometerröhren, deren Lumen durchschnittlich 3 Mm. betrug, blos um 1—2 Zoll.

letzteres eine Lumenweite von 6 Mm. besitzt, und das Quecksilber in einem sehr feinen Strahle eingelassen wird, nicht zu verhindern, dass in das Gefäss *a* eine grössere Wassermenge aus der Röhre *b* gedrängt wird, ein weiterer Umstand, welcher wegen der Absorption der Kohlensäure von Wasser, besonders bei höherem Drucke jede genaue quantitative Bestimmung des ursprünglich zur Verwendung gekommenen Kohlensäure- und Wasserstoffgases illusorisch machen würde. Darauf kommt es aber bei der gestellten Frage auch gar nicht an.

Um die Gase nach dem Versuche zur Analyse zu gewinnen, wird der ganze Apparat in ein grösseres mit Wasser gefülltes Gefäss gestellt, und der Verband zwischen *a* und *b* vorsichtig gelöst. Wurde ein ziemlich dickwandiges Kautschukrohr verwendet, so hat man selbst bei einem Drucke von mehr als 50 Zoll Quecksilber kein Aufblähen desselben zu besorgen.

Über die Mündung der Röhre *a* wird sodann unter Wasser ein kurzer Kautschukschlauch geschoben und dessen unteres Ende mit einem Glasstöpsel verschlossen. Die Operationen am Quecksilbertische sind dieselben, wie die bereits oben pag. 175 Fig. 4 beschriebenen, nur dass das aufgesetzte Gasansammlungsrohr nicht mit Kalilauge, sondern gleich mit Quecksilber gefüllt wird.

Statt vieler Worte füge ich die in einer Tabelle zusammengestellten Gasanalysen sämmtlicher Versuche, die ich unter einem Überdrucke von mehr als einer Atmosphäre, alle mit je einem mittelgrossen Blatte von *Juglans*, gemacht habe, chronologisch geordnet, bei. Die Insolation dauerte immer zwischen 5 und 6 Stunden. Einer übermässigen Erwärmung wurde durch Einsenken der Apparate in hinreichend hohe mit Wasser gefüllte Glascylinder vorgebeugt; es wurde vorgesorgt, dass die Temperatur in dem Kühlwasser nie über 32° C. stieg.

Versuchszeit	Höhe der drückenden Quecksilbersäule in Mtr.	Angewendete Gasmenge in CC. [1]	Das Gas enthielt nach dem Versuche in Procenten:		Der gebildete Sauerstoff betrug, auf die angewendete Gasmenge bezogen, in CC.
			Kohlensäure	Sauerstoff [2]	
1. Sept. 1870	1·16	192	17·26	11·02	21·15
„	1·19	181	37·94	1·80	3·26
„	1·42	185	34·08	0·33	0·61
7. Sept. 1870	1·43	157	38·93	5·20	8.16
„	1·18	172	49·98	0·38	0·65
„	1·45	169	51·30	0·0	0·00
26. Juli 1872	1·42	165	8·27	20·07	33·12
„	1·43	161	13·45	14.04	22·60
„	1·21	154	25·27	6·21	9·56

Das für uns wichtigste Ergebniss dieser Versuche ist dies, dass bei einem Überdrucke von mehr als $1\frac{1}{2}$ Atmosphären durch grüne Landpflanzen noch gasförmige Kohlensäure zerlegt wird. Während aber bei gewöhnlichem Drucke in einem Gemische von $\frac{1}{2}$ Volumen Kohlensäure und $\frac{1}{2}$ Volum Wasserstoff noch ziemlich viel Sauerstoff gebildet wird, ist in einer solchen Gasmischung bei erhöhtem Drucke die Menge des gebildeten Sauerstoffes nur eine sehr unbedeutende. Es ist dies in Folge der Compression der Versuchsgase in dem Umstande begründet, dass ja auch bei gewöhnlichem Drucke reine Kohlensäure unter sonst günstigen Umständen von *Juglans*-Blättern nur in sehr geringen Quantitäten zerlegt wird.

---

[1] Die in dieser Colonne angeführten Zahlen wurden dadurch erhalten, dass die Röhre *a*, Fig. 6 nach Schluss der Versuche bis auf die Blätter entleert und dann aus einer Messbürette so weit, als sie nach Schluss des Versuches bei gewöhnlichem Drucke Gas enthielt, mit Wasser gefüllt wurde.

[2] Der nicht als Kohlensäure und Sauerstoff bestimmte Gasantheil besteht aus Wasserstoff und jenen Spuren von Stickgas, welche während des Versuches aus dem Blatte diffundirten. — Die Summe des gefundenen Kohlensäure- und Sauerstoffgases entspricht, wenigstens sehr annähernd, dem Procentgehalte von Kohlensäure in der angewendeten Gasmenge.

Es bestätigen demnach auch die bei erhöhtem Drucke gemachten Versuche unsere Hypothese, dass in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Landpflanzen nur dann Sauerstoff bilden können, wenn sie sich früher mit einer kohlensäurehältigen Atmosphäre bekleiden konnten, auf das vollständigste[1].

III. Methode.

Zur Erprobung unserer durch die mitgetheilten Untersuchungen übrigens, wie ich glaube, hinreichend bewiesenen Behauptung, dass Landpflanzen in kohlensäurehältigem Wasser nur

---

[1] Auch mit Sumpf- und Wasserpflanzen habe ich eine Reihe von Versuchen wie die eben beschriebenen gemacht; die dabei bisher gewonnenen Resultate will ich hier nur in Kürze anführen.

Nasturtium officinale, Ranunculus aquatilis, Hottonia palustris, Potamogeton coloratus u. *perfoliatus* und *Myriophyllum verticillatum* zeigten in kohlensäurehältigem Wasser ein ganz ähnliches Verhalten wie die *Juglans*-Blätter.

Die grösste Hubhöhe betrug in den mit diesen Pflanzen beschickten, ursprünglich ohne Druck insolirten Apparaten höchstens 25 Zoll Quecksilber. Bei einem Anfangsdrucke von 20 Zoll erfolgte keine, oder doch nur sehr unbedeutende Gasabscheidung.

Wesentlich verschieden von den angeführten Sumpf- und Wasserpflanzen verhielten sich jedoch *Fontinalis antipyretica, Lemna minor* und Blätter oder Blattabschnitte von *Nymphaea alba.* Von diesen in kohlensäurehältiges Wasser eingesenkten und dem Sonnenlichte exponirten Pflanzen wurde das Quecksilber in einzelnen Fällen bis zu einer Höhe von 55 Zoll gehoben und selbst bei einem ursprünglichen Drucke von 50 Zoll Quecksilber erfolgte bei *Fontinalis* und *Nymphaea* eine, wenn auch nur geringe Gasabscheidung.

Aus diesen und den früher angeführten Versuchen mit echten Wasserpflanzen gewinnt es den Anschein, als ob sich dieselben bei der Aufnahme von Kohlensäure und Abgabe von Sauerstoff nicht alle gleich verhalten würden. Die einen *(Potamogeton, Myriophyllum)* scheinen sich hiebei so wie untergetauchte Landpflanzen zu verhalten, während andere *(Fontinalis)* vielleicht in analoger Weise wie Kiemenathmer respiriren.

Die Druckversuche mit echten Wasserpflanzen scheinen mir auch deshalb von Interesse zu sein, weil sie vielleicht einen berechtigten Schluss auf die Wassertiefe, in welcher dieselben möglicherweise noch fortkommen können, zu gestatten scheinen.

Für den Umstand, dass bei gleichzeitig und auch unter sonst ganz gleichen Verhältnissen angestellten Versuchen sowohl mit Land-, als Wasserpflanzen das Quecksilber in verschiedenen Apparaten sehr verschieden hoch stieg, weiss ich keine Erklärung.

dann Sauerstoff ausscheiden, wenn sie sich vorher mit einer kohlensäurehältigen Atmosphäre bekleiden konnten, ist noch eine Methode denkbar, welche sich auf folgendes Raisonnement gründet:

Die in kohlensäurehältiges Wasser eingesenkten Landpflanzen bekleiden sich insbesonders in Folge der Diffusion zwischen den in ihnen enthaltenen und der im umgebenden Wasser gelösten Luft mit Gasbläschen. Würden nun die Blätter vor dem Versuche mit Wasser injicirt, so könnten sich auf denselben während der Insolation in kohlensäurehältigem Wasser vorzüglich nur insoferne Luftbläschen absetzen, als dies auch auf jedem anderen festen Körper geschieht. Injicirte Blätter von Landpflanzen dürfen daher bei der Richtigkeit unserer Hypothese in kohlensäurehältigem Wasser an der Sonne nur wenig Gas abscheiden.

Zu diesen Versuchen verwendete ich Blätter von *Juglans*, *Platanus* und *Beta vulgaris*.

Mittelst der Luftpumpe erfolgt die Injection der Blätter nur sehr langsam und unvollständig. Am besten und schnellsten kommt man in folgender Weise zum Ziele.

Eine mindestens $1^1/_2$ Mtr. lange, 25—30 Mm. weite, ziemlich dünnwandige Glasröhre wird an einer Seite zugeschmolzen und mittelst eines Hebers mit kochendem Wasser vollgefüllt. Nach dem Auskühlen werden die gewaschenen Blätter mittelst eines hinreichend langen Glasstabes bis auf den Grund der Röhre eingeschoben und aus dieser mittelst eines Hebers das Wasser in einer Höhe von beiläufig 49 Ctm. ablaufen gelassen. Das bisher offene Röhrenende wird sodann in eine feine Spitze ausgezogen und um die Röhre, so gegen 25 Ctm. unter dem Wasserniveau, ein feuchtes Tuch gewickelt (was indess bei gehöriger Röhrenlänge nicht absolut nothwendig ist). Mit Hilfe eines Bunsenschen Gasbrenners wird nun unter geeigneter Vorsicht durch Kochen des Wassers über dem feuchten Belege die Röhre vollständig luftleer gemacht. Vorläufige Versuche hatten mich überzeugt, dass dies nach 10 Minuten langem, lebhaften Wallen des Wassers sicher geschehen ist. Während des Kochens wird dann mittelst eines Gaslöthrohres die ausgezogene Röhrenspitze zugeschmolzen. Nach dem Abkühlen entweicht alsbald Luft aus den

Blättern. Eine vollständige Injection derselben ist nur durch wiederholtes senkrechtes Schütteln der Röhre möglich und gelingt bei lederartigen Blättern selbst da nicht immer vollständig. Bei diesem Schütteln geschah es wiederholt, dass mir der untere Theil der Röhre in der Hand blieb, während der obere in die Luft flog. — Die Injection der Blätter wurde Abends vorgenommen und dieselben über Nacht in den ausgekochten Röhren belassen [1].

Ganz in Übereinstimmung mit den gemachten Voraussetzungen wurde durch die in der beschriebenen Weise injicirten Blätter in kohlensäurehältigem Wasser an der Sonne nur sehr wenig Gas abgeschieden. Die Ursache hiefür konnte in diesen unseren Voraussetzungen liegen, konnte aber auch möglicherweise dadurch bedingt sein, dass die injicirten Versuchsblätter bereits todt waren.

Es ist bekanntlich in den meisten Fällen geradezu unmöglich, aus morphologischen Charakteren einen Schluss zu ziehen, ob bestimmte Zellen noch leben oder bereits abgestorben seien. Für grüne Pflanzentheile haben wir in der Function der Zerlegung der Kohlensäure bei Einwirkung von Licht und Wärme ein, wenn auch etwas umständliches, aber dafür sicheres Kriterium.

Bei den im verflossenen Sommer gemachten Versuchen wurden von den drei injicirten Blättern jeder Art je zwei in kohlensäurehältigem Wasser und eines in einem Gemische von Kohlensäure und Wasserstoff insolirt.

---

[1] Es wäre allerdings besser, wenn die Blätter unmittelbar vor dem Versuche injicirt würden. Aber abgesehen davon, dass die Luft nur langsam entweicht, brechen auch beim Auskochen nicht selten die Röhren oder es passirt bei den weiteren Operationen irgend ein anderes Malheur. Wenn alles gut abgeht, nimmt die Zusammenstellung der Apparate jedenfalls den grössten Theil des Vormittags in Anspruch, so dass die Zeit für den directen Versuch zu sehr abgekürzt wird. Abgesehen davon, dass ich weder einen Assistenten noch einen Diener habe, war ich auch zur Zeit dieser Versuche, selbst die Sonntage nicht ausgenommen, in den Vormittagsstunden von meinen lehramtlichen Pflichten vollständig occupirt. Zudem ist man bei derlei Untersuchungen ganz von der Witterung abhängig. Wiederholt habe ich in der getäuschten Hoffnung auf einen sonnigen Himmel alle Vorarbeiten umsonst gemacht.

Versuche in kohlensäurehältigem Wasser.

Versuchszeit	Versuchsobject	Abgeschiedene Gasmenge nach Absorption d. Kohlensäure in CC., bei 0° u. 1 Mtr. Druck	Darin enthaltener Sauerstoff in Procenten
12. Juli 1871	*Platanus*	2·93	23·47
12. „ 1871	*Juglans*	2·40	18·75
9. „ 1872	*Juglans*	3·05	25·26
9. „ 1872	*Beta*	1·91	19·21
16. „ 1872	*Beta*	2·14	21·74

Versuche in einer Mischung von Kohlensäure und Wasserstoff.

Versuchszeit	Versuchsobject	Angewendete Gasmenge in CC. bei 0° u. 1 Mtr. Druck	Darin waren enthalten in Procenten	
			Kohlensäure	Sauerstoff
12. Juli 1871	*Platanus*	25·50	19·03	9·82
12. „ 1871	*Juglans*	23·26	11·43	16·98
9. „ 1872	*Juglans*	22·48	13·29	15·10
9. „ 1871	*Beta*	26·38	10·32	17·94
16. „ 1872	*Beta*	24·57	9·31	16·76

Das durch injicirte Blätter aus kohlensäurehältigem Wasser abgeschiedene Gas ist also weder quantitativ, noch qualitativ auffallend von dem verschieden, welches unter ähnlichen Verhältnissen vermittelst Platinblech etc. gewonnen wurde, während von den in gleicher Weise behandelten Blättern in kohlensäurehältiger Luft ziemlich viel Sauerstoff gebildet wurde. Es bestätigen demnach auch die Ergebnisse dieser, der Zahl nach allerdings viel zu geringen Versuche vollständig unsere Voraussetzung.

Wenngleich es befriedigen muss, durch directe Versuche bestätiget zu sehen, was schon a priori sehr wahrscheinlich schien: dass insolirte grüne Landpflanzen in kohlensäurehältigem Wasser nicht anders fungiren als in kohlensäurehältiger Atmosphäre, so drängt sich uns anderseits gleichwohl die Frage

auf, warum die vom Wasser absorbirte Kohlensäure nicht unmittelbar von den eingetauchten, grünen Blättern aufgenommen und der von und in diesen gebildete Sauerstoff nicht ebenso directe ins Wasser abgeschieden werde?

Eine befriedigende Antwort auf diese Frage ist jedenfalls erst dann möglich, wenn uns die Vorgänge bei der Kohlensäurezerlegung unter normalen Verhältnissen möglichst klar geworden sind.

Von den chlorophyllhaltigen Zellen wird natürlich nur die im Zellsafte gelöste Kohlensäure zerlegt.

In Anbetracht des grossen Absorptionscoëfficienten des Wassers und somit sicher auch des Zellsaftes für Kohlensäure und der continuirlichen Consumtion der letzteren ist es sehr wohl begreiflich, dass unter günstigen Bedingungen von einem grünen Blatte eine relativ grosse Menge von Kohlensäure zum Verschwinden gebracht werden kann.

Für die assimilirte Kohlensäure tritt ein gleiches oder nahezu gleiches Volumen Sauerstoff aus. Obwohl einerseits der Absorptionscoëfficient des Wassers (des Zellsaftes) für Sauerstoff unverhältnissmässig kleiner ist als der für Kohlensäure, und anderseits in Kohlensäure assimilirenden Zellen nie Luftbläschen gefunden werden, so ist doch der ganze Process der Kohlensäure-Zerlegung und Sauerstoff-Abscheidung in Anbetracht der Zusammensetzung der den assimilirenden Pflanzentheil umgebenden Atmosphäre aus Kohlensäure, Sauerstoff und Stickstoff, in welchen procentischen Verhältnissen diese Gase auch gemischt sein mögen, nach dem bekannten Diffusionsgesetze recht gut selbst bei der sehr unwahrscheinlichen Annahme erklärlich, dass sich der Zellinhalt als gasabsorbirende Substanz nicht anders verhalte als reines Wasser.

Insolirte, in kohlensäurehältiges Wasser getauchte Landpflanzen zerlegen zweifellos die von dem Zellsafte absorbirte Kohlensäure in ganz gleicher Weise, wie wenn dieselben von einer kohlensäurehältigen Atmosphäre umgeben wären. Es ist auch kein Grund vorhanden, warum die in den Zellen verschwundene Kohlensäure nicht directe, d. i. durch unmittelbare Diffusion aus dem umgebenden Wasser ersetzt werden soll. Der in den Zellen gebildete Sauerstoff kann aber nur in einem dem Absorp-

tionscoëfficienten des umgebenden Wassers entsprechenden Quantum ausgeschieden und in dem Zellsafte selbst durch neugebildeten ersetzt werden. Sobald der Zellinhalt so viel Sauerstoff enthält, als in demselben (in nicht gasförmigem Zustande) aufgespeichert werden kann, wird wohl jede weitere Zerlegung der Kohlensäure sistirt sein. Da kein Grund vorhanden ist, warum der aus den Zellen ins Wasser diffundirte Sauerstoff in Bläschenform entweichen soll, werden die Pflanzen unter den oben beschriebenen Bedingungen auch kein Gas ausscheiden können.

Es erklärt sich nun leicht, warum injicirte Landpflanzen in einer kohlensäurehältigen Atmosphäre wohl noch Sauerstoff bilden, in kohlensäurehältigem Wasser aber bezüglich der Gasabscheidung sich nicht auffallend anders verhalten als irgend welcher fester d. i. luftfreier Körper. — Dass das durch leblose Körper aus kohlensäurehältigem Wasser abgeschiedene Gas mitunter etwas weniger Sauerstoff enthält als jenes, welches man unter gleichen Verhältnissen vermittelst vollständig injicirter Blätter gewinnt, hat seinen Grund darin, dass an den wenigen Stellen, wo sich auf letzteren (sowie auf anderen festen Körpern) Gasblasen bilden, das Blatt in einer kohlensäurehältigen Atmosphäre fungirt.

Wie selbstverständlich diese Schlussfolgerungen aber auch sein mögen, ebenso unzuverlässig müssen dieselben erscheinen, wenn man den Process der Gasabscheidung bei der geistigen und Buttersäure-Gährung in Betracht zieht.

Durch den heutigen Stand unserer Vorstellung über das Wesen der geistigen Gährung [1] wird die Annahme bedingt, dass das Zerfallen des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure nicht ausser-, sondern innerhalb der Hefezellen erfolge [2]. — Die Flüssigkeit, in welcher die Gährung stattfindet, wird sich sehr bald

---

[1] Adolf Meyer, Untersuchungen über die alkoholische Gährung etc. Landw. Versuchsst. von Nobbe, Bd. 14, 1871.

[2] In der Nähe frisch zerquetschter Hefezellen treten in einer Zuckerlösung keine Gasblasen mehr auf. — Anderseits erscheint es aber wieder gar nicht wahrscheinlich, dass bei der Buttersäuregährung die relativ grossen Mengen von Kohlensäure und Wasserstoff innerhalb der winzigen Hefezellen entstehen sollen.

Dr. Jos. Böhm, Über die Bildung von Sauerstoff durch grüne in Kohlensäure hältiges Wasser getauchte Landpflanzen.

